植物营养与肥料学报 2009,15(5): 1003-1009
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同有机无机复混肥对小麦产量、氮效率和土壤微生物多样性的影响

王秋君，张小莉，罗 佳，黄启为*，沈其荣，杨兴明*
(南京农业大学,江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室,江苏南京 210095)

摘要：通过田间试验,研究了菜粕堆肥、猪粪堆肥和中药渣堆肥有机无机复混肥与无机复混肥等价格施入对小麦产量、氮素利用率以及土壤微生物多样性的影响。结果表明,3 种堆肥原料有机无机复混肥处理的小麦子粒产量(5838.8 ～6243.1 kg/hm^2)为化肥处理(5880.4 kg/hm^2)的 99.3%～106.2%,差异不显著。猪粪处理和菜粕处理的小麦子粒的氮素累积量(分别为 100.2 kg/hm^2 和 95.8 kg/hm^2)显著高于化肥处理(85.9 kg/hm^2)和中药渣堆肥有机无机复混肥处理(84.5 kg/hm^2)；3 种有机无机复混肥的氮肥回收效率和氮素利用率(包括氮素生理利用效率和氮素子粒生产效率)都高于化肥处理的氮肥回收效率和氮素利用率。对各处理土壤 DNA 条带采用邻接法分析表明,施入外源有机物质(菜粕堆肥、猪粪堆肥与中药渣堆肥)可以改变土壤的微生物细菌群落结构,而施入化肥对土壤的微生物细菌群落结构影响较小。本试验条件下,施用 3 种堆肥原料的有机无机复混肥可以获得与施用化肥相当的小麦子粒产量,提高小麦的氮素回收和利用效率,改变土壤微生物细菌群落结构。

关键词：堆肥；有机无机复混肥；小麦产量；氮素利用率；土壤微生物多样性
中图分类号：S141.4；154.36　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2009)05-1003-07

Effects of different organic-inorganic mixed fertilizations on yield of wheat, nitrogen use efficiency and soil microbial diversity

WANG Qiu-jun, ZHANG Xiao-li, LUO Jia, HUANG Qi-wei*, SHEN Qi-rong, YANG Xing-ming*
(*Jiangsu Key Lab for Solid Organic Waste Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of applications of organic-inorganic mixed fertilizers (OIMF) and chemical fertilizer (CF) on yield of wheat, nitrogen use efficiency (NUE) and soil microbial diversity. Rapeseed cake compost (RCC), pig manure compost (PMC) and Chinese medicine residue compost (CMC) was mixed with CF (nitrogen, phosphorus and potassium) to the three OIMF. The costs of all the treatments except the CK were same. The results show that the wheat yields of the three OIMF treatments are from 5838.8 to 6243.1 kg/ha which are about 99.3% - 106.2% of the yield of the CF treatment (5880.4 kg/ha). The total N accumulation amounts of wheat in the PMC (100.2 kg/ha) and RCC (95.8 kg/ha) treatments are significantly higher than those of the CF (85.9 kg/ha) and CMC (84.5 kg/ha) treatments. The N recovery rate (NRR) and NUE (N physiological use efficiency and N grain production efficiency) of the three treatments of OIMF are higher than those of the CF treatment. Results of the neighbor joining analysis indicate that the applications of organic fertilizers could alter soil bacterial communities, while the application of CF has little effects on soil bacterial communities. Compared with the CF treatment, applications of the three kinds of OIMF could obtain the same grain yields of wheat, increase the NRR and NUE, and improve soil bacterial communities under the same cost of the fertilizations.

Key words: compost; organic-inorganic mixed fertilizer; wheat yield; nitrogen use efficiency; soil bacterial diversity

收稿日期：2008-10-24　　**接受日期**：2009-03-17
基金项目：国家科技部支撑计划(2007BAD87B07)；农业部"948"项目(2006-G62)；国家科技部支撑计划(2006BAD10B09)；农业部农业结构调整重大专项(06-07-04B)资助。
作者简介：王秋君(1983—),男,山西运城人,硕士研究生,主要从事有机(类)肥料研制与肥料合理利用研究。
* 通讯作者 Tel: 025-8439612, E-mail: qwhuang@njau.edu.cn; xingming@njau.edu.cn

随着经济的发展和人口的急剧增长,固体有机废弃物的数量日益增加。这些固体有机废弃物如不经无害化处理会造成严重污染。固体有机废弃物作为可利用和回收的资源,利用堆肥技术处理后施入农田,既消纳了城镇产生的固体有机废弃物,提高了城镇的环境质量,又会对农田环境产生良好的生态效益和经济效益[1]。

据报道,我国氮肥的施用量占世界第一位。目前发达国家农作物对氮素的利用率为40%~60%,我国大部分地区为30%;氮肥的损失率高达50%~60%,每年含氮化肥的损失量达800多万吨[2]。

许多研究表明,有机肥与化肥配施不仅可以提高化肥的利用率[4-6],还可以改善土壤的物理结构,提高土壤的有机质含量,从而增加土壤的肥力[7-8]。目前,国内很多试验都是关于有机无机肥料混施对作物产量和土壤性状的影响,其中很多试验是在等养分施用条件下比较有机无机复混肥和化肥对作物的影响。然而,有机无机复混肥和化肥等价格施用条件下对作物影响的研究鲜见报道。本文通过田间试验研究了苏南地区等价格施用不同原料堆肥有机无机复混肥和化肥对小麦产量和氮效率以及土壤微生物多样性的影响,以期为有机无机复混肥的推广应用和固体有机废弃物的综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2006年11月至2007年6月在江苏省常熟市白茆镇进行。供试土壤为冲积母质(长江冲积物)发育的水稻土,其基本理化性状为:全氮1.96 g/kg,碱解氮180.0 mg/kg,速效磷11.7 mg/kg,速效钾72.4 mg/kg,有机质19.5 g/kg,pH(水土比2.5:1)值为7.91。试验用肥料:化肥为NPK复合肥;有机无机复混肥为猪粪堆肥有机无机复混肥;菜粕堆肥有机无机复混肥;中药渣堆肥有机无机复混肥。

试验设:1)对照(CK,未施氮肥);2)NPK复合肥(10-7-8,CF);3)猪粪堆肥有机无机复混肥(N-P_2O_5-K_2O 12-4-4,OM≥20%,简称猪粪堆肥,简写为PMC);4)中药渣堆肥有机无机复混肥(N-P_2O_5-K_2O 12-4-4,OM≥20%,简称中药渣堆肥,简写为CMC);5)菜粕堆肥有机无机复混肥(12-4-4,OM≥20%,简称菜粕堆肥,简写为RCC)5个处理。试验用有机无机复混肥与无机复合肥的肥料购买成本相同,各有机无机复混肥施用量为无机肥(无机复合肥和尿素)购买价格除以单一有机无机复混肥销售价格所得。无机复合肥氮的分配比例为基肥:返青肥:穗肥=50%:30%:20%,用尿素作追肥;有机无机复混肥做基肥一次性施用,磷肥为过磷酸钙SSP,钾肥为氯化钾KCl。各处理肥料用量见表1。每处理重复3次,随机区组排列。

供试小麦品种为扬麦14号,于2006年11月5日播种。小区面积6 m×7 m,试验田四周设有保护行,常规田间管理。

表1 各处理肥料施用量

Table 1 The fertilizer quantity of different treatments

处理 Treatment	肥料用量 Fertilizer quantity (kg/hm²)	养分施用量 Nutrient quantity (kg/hm²)		
		N	P	K
CK	SSP 1050 KCl 240	0	55.0	120
CF	1800	180	55.0	120
PMC	1710	162	24.0	37.8
CMC	1716	166	24.3	38.7
RCC	1696	171	25.0	39.9

1.2 采样和测定项目与方法

于2007年5月29日采集0—20 cm的土样;植株样分别在开花期和成熟期采集。

小麦收获后取0—20 cm的3个重复土样,混合后取100 g在4℃条件下保存,一周后提取DNA,测定土壤微生物多样性。

土壤全氮、全磷、有机质、速效磷、速效钾、pH以及植株样全氮的测定采用常规方法[9]。

土壤微生物群落变化分析:利用DGGE技术,通过直接法[10-11]提取土壤DNA,经过PCR扩增[12]后(PCR引物为PRBA338F:5-AC TCC TAC GGG AGG CAG CAG-3和PRUN518R:5-ATT ACC GCG GCT GCT GG-3,在PRBA338F的5-端添加G C clamp:5-CGC CCG CCG CGC GCG GCG GGC GGG GCG GGG GCA CGG GGG G-3),采用D-Code突变检测系统(Bio-Rad)对样品进行DGGE分析。所用的聚丙烯酰胺凝胶浓度为8%,变性梯度为40%~60%,80V,恒温60℃,1×TAE中电泳16 h,银染后扫描。

1.3 相关数据计算方法及处理

氮效率计算方法[13]如下:

氮素积累总量(Total nitrogen accumulation,简称TNA,kg/hm²)=植株地上部的全氮含量×单位面积植株地上部干重;

氮素子粒生产效率（Nitrogen grain production efficiency，简称 NGPE，kg/kg）= 单位面积小麦子粒产量/单位面积植株地上部氮素积累总量；

氮肥回收率（Nitrogen recovery rate，简称 NRR，%）=（施氮区地上部吸氮量 - 无氮空白区地上部吸氮量）/施氮量 × 100；

氮肥生理利用效率（Physiological nitrogen use efficiency，简称 PNUE，kg/kg）=（施氮区产量 - 无氮空白区产量）/（施氮区地上部吸氮量 - 无氮空白区地上部吸氮量）；

氮素转运量（Nitrogen transportation accumulation，简称 NTA，kg/hm^2）= 开花期茎叶氮总量 - 成熟期茎叶氮总量；

氮素转运率（Nitrogen transportation efficiency，简称 NTE，%）=（开花期茎叶氮总量 - 成熟期茎叶氮总量）/开花期茎叶氮总量 × 100。

数据处理使用 Excel 2003 程序和 SPSS11.5 统计分析软件。采用 Quantity One 分析软件（Bio-Rad）分析样品电泳条带。

2　结果与讨论

2.1　不同肥料对小麦子粒产量的影响

不同原料堆肥有机无机复混肥处理和化肥处理的子粒产量（5838.8～6243.1 kg/hm^2）都显著高于未施氮肥处理（2887.3 kg/hm^2），为未施氮肥处理小麦子粒产量的 2.0～2.2 倍，增产率为 102%～116%；但施肥处理间差异不显著。各不同原料堆肥有机无机复混肥处理的小麦子粒产量为化肥处理的 99.3%～106.2%（图 1）。可见，本试验条件下，施用 3 种堆肥原料有机无机复混肥可以获得与施用化肥相当的小麦子粒产量。

2.2　不同肥料对小麦子粒氮累积量和转运量的影响

图 2 表明，不同原料堆肥有机无机复混肥和化肥处理成熟期小麦子粒氮素累积量（84.5～100.2 kg/hm^2）都显著高于不施氮肥处理的子粒氮素累积量（34.0 kg/hm^2）。各施氮肥处理中，猪粪处理和菜粕处理的子粒氮素累积量（分别为 100.2、95.8 kg/hm^2）都显著高于化肥处理和中药渣处理的子粒氮素累积量（分别 85.9、84.5 kg/hm^2），中药渣处理与化肥处理之间的子粒氮素累积量无差异。可见，在本试验条件下，施用有机无机复混肥可以使小麦子粒吸收累积与施用化肥相当或更多的氮素。

图 3 看出，化肥处理和有机无机复混肥处理的

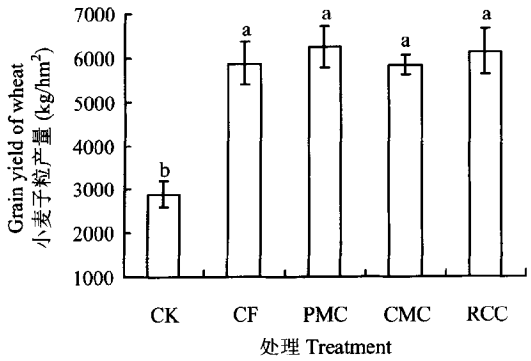

图 1　不同施肥处理对小麦子粒产量的影响

Fig.1　Effects of the different fertilizations on grain yield of wheat

[注(Note)：方柱上不同字母表示在 5% 水平上差异显著，下同。Different letters above bars means significant at 5% level. The same below.]

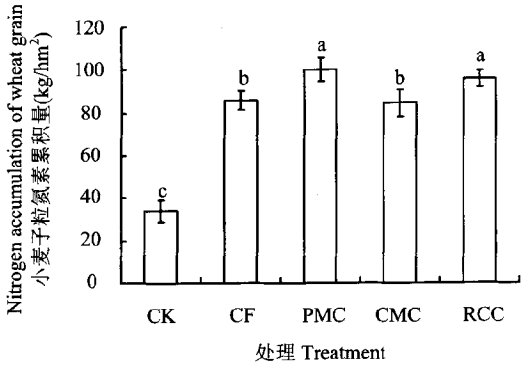

图 2　不同施肥处理对成熟期小麦氮素累积量的影响

Fig.2　Effects of the different fertilizations on the total N accumulation of wheat at the maturity stage

氮素转运量（47.5～57.2 kg/hm^2）都显著高于不施氮肥处理（26.5 kg/hm^2），猪粪堆肥和中药渣堆肥的氮素转运量（分别为 57.2 kg/hm^2 和 53.1 kg/hm^2）显著高于化肥处理（47.5 kg/hm^2），菜粕堆肥（48.2 kg/hm^2）的氮素转运量与化肥处理（47.5 kg/hm^2）的氮素转运量无差异。

图 3 还看出，除猪粪处理外，不施氮肥处理氮素转运率显著高于其他各施氮处理，这可能是由于开花前营养器官中的氮素累积量很少的缘故。各施氮肥处理中，猪粪处理（77.7%）和中药渣处理（70.1%）的氮素转运率都显著高于化肥处理的氮素转运率（65.7%）和菜粕处理的氮素转运率（65.8%），菜粕处理与化肥处理的氮素转运率之间无显著差异。可见在本试验条件下，与施用化肥比较，施用合适的有机无机复混肥对营养器官的氮素转运具有更显著的促进效应。

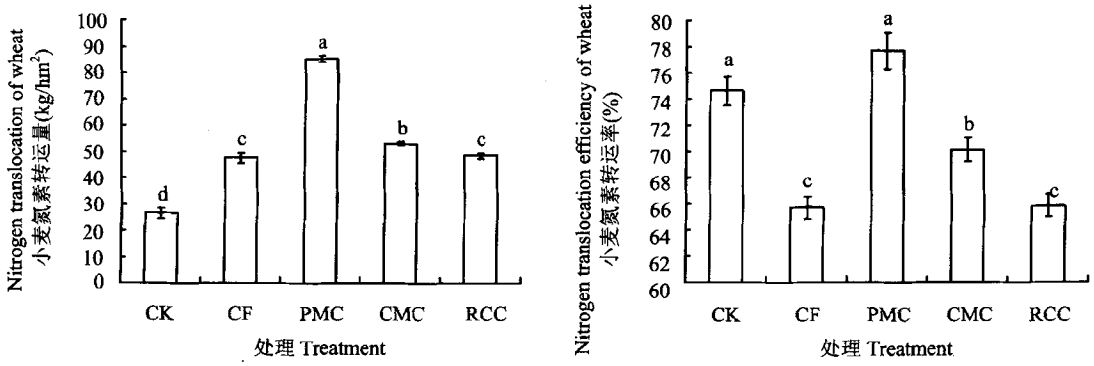

图3 不同施肥处理对小麦氮素转运量和转运率的影响

Fig.3 Effects of the different fertilizations on the N translocation and its efficiency of wheat

2.3 不同肥料对小麦氮效率的影响

氮素的养分效率一般包括吸收效率、回收率和利用效率[16]。主要评价指标包括氮素积累总量、氮肥回收率、氮素子粒生产效率和氮素生理利用效率等。由表2可知,在小麦全生育期内,猪粪处理和菜粕处理的氮素积累总量显著高于化肥处理的氮素积累总量,中药渣处理的氮素积累总量与化肥处理的氮素积累总量之间无显著差异。3种有机无机复混肥的氮肥回收率(47.8%~68.5%)都显著高于化肥处理的氮肥回收率(36.1%),比单施化肥提高了11.7至32.4个百分点。

氮肥生理利用效率反映了作物体内对所吸收的肥料氮素的利用率。与单施化肥比较,各有机无机复混肥处理的氮素生理利用效率提高了15.0至43.3个百分点;中药渣处理和菜粕处理都显著高于化肥处理,猪粪处理与化肥处理之间无差异。3种有机无机复混肥处理的氮素子粒生产效率比单施化肥提高了6.0至30.1个百分点;其中中药渣处理和菜粕处理的氮素子粒生产效率显著高于化肥处理和猪粪处理,猪粪处理与化肥处理的子粒生产效率差异不显著。

可见,施用化肥虽可增加小麦植株的吸氮量,但由于开花后营养器官中的氮素向子粒转移的数量及转运率都降低,过多的氮素滞留在营养器官中,容易引起贪青晚熟,导致子粒产量下降,氮素生理利用效率和子粒生产效率不高。与施用化肥处理比较,施用有机无机复混肥处理可以使吸收的氮素较多的转化为经济产量,避免了无效积累,提高了养分效益,同时也可减少氮素养分损失,提高了氮肥的利用率,减轻了对环境的压力。

表2 不同施肥处理对小麦氮肥利用和生产效率的影响

Table 2 Effects of the different fertilizations on nitrogen use efficiency and nitrogen production efficiency of wheat

处理 Treatment	氮素积累总量 TNA (kg/hm²)	氮肥回收率 NRR (%)	氮肥生理利用效率 PNUE (kg/kg)	氮素子粒生产效率 NGPE (kg/kg)
CK	42.4 d			52.7 a
CF	110.9 bc	36.1 c	14.4 b	25.5 b
PMC	120.5 a	48.8 b	29.4 b	31.5 b
CMC	105.9 c	68.5 a	57.7 a	55.6 a
RCC	120.2 a	47.8 a	54.8 a	53.4 a

2.4 不同原料堆肥有机无机复混肥对土壤微生物多样性的影响

2.4.1 不同原料堆肥有机无机复混肥的土壤微生物群落DGGE图谱分析 应用DGGE技术分离16S rDNA V3片段PCR产物,可以看到分离为若干条带(图4A),但不同处理土壤样品的16S rDNA V3片段PCR产物出现的带型有一定的差别(图4B)。从16S rDNA V3片段PCR产物的DGGE图谱进行初步统计发现:5种处理土壤在DGGE图谱中电泳条带数目、强度和迁移率均存在一定的差异,充分显示了微生

物的多样性。不同处理土壤间具有许多共同的条带，说明这些供试处理土壤来源于同一质地土壤，其间可能存在一些共有的微生物类型；然而这些公共条带的亮度也不相同，说明不同处理土壤微生物在 DNA 水平上有明显的改变。通过观察 DGGE 图谱以及泳道比较图可以看出，施用三种堆肥原料有机无机复混肥处理的土壤条带和对照土壤条带存有明显的差异，其中以猪粪差异最大，而化肥处理和对照之间的土壤条带差异性很小。这说明相对于化肥来说，不同原料堆肥有机无机复混肥可以明显地改变土壤里的微生物群落结构，从而改善土壤的生物性状甚至土壤的养分供应状况。

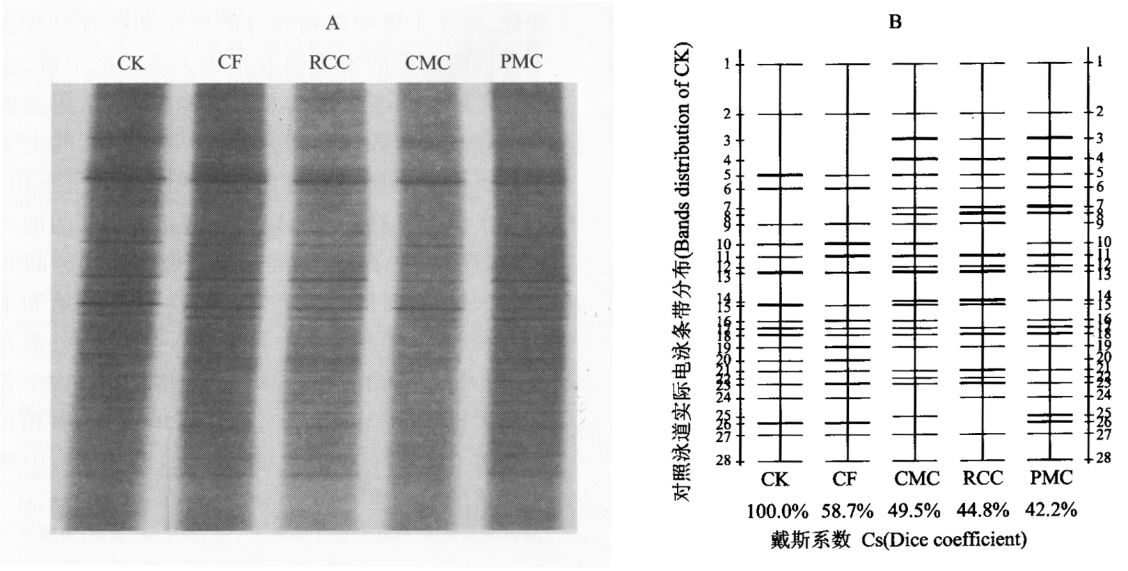

图 4　16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 图谱以及泳道比较图

Fig.4　DGGE profiles of amplified 16S rDNA fragments from soil samples and land compare

2.4.2　不同原料堆肥有机无机复混肥的土壤微生物群落相似性分析　对所得图像用 Bio Rad Quantity One 4.6.3 软件进行处理，有关泳道和条带的技术处理都用该软件进行。DGGE 条带图案相似性的系统树图，由系统依据戴斯系数 Cs (Dice coefficient)按照有关方法(如 Neighbor joining 算法，UPGMA 算法等)计算绘出。$Cs = 2j(a+b)$，j 是样品 A 和 B 共有的条带，a 和 b 分别是样品 A 和 B 中各自的条带数。戴斯系数的范围是从 0 (没有共同带)到 1 (所有的条带相同)。用戴斯系数计算出的各泳道样品相似性矩阵，用它可以对 DGGE 图谱中各泳道样品间的相似性进行比较。

邻接法分析(Neighbor Joining)表明(图 5)，5 个处理土壤样品的土壤微生物共分为三大族群，化肥与对照为一种族群，菜粕和中药渣为一种族群，猪粪又属另一种族群。说明施入外源有机物质(菜粕、中药渣与猪粪)可能改变了土壤的微生物群落结构，而施入化肥对土壤的微生物群落结构影响较小，这可能是有机物质对土壤的微域生态环境的改变较大。相似性指数比较(表 3)看出，各处理土壤间差别较大，施用有机无机肥料处理的土壤与对照及化肥处理土壤之间的相似性都低于 50%，说明有机物料的加入对于土壤微生物群落结构的影响是比较大的。不同有机物料堆肥对于土壤微生物区系的影响也有差异，本试验中猪粪堆肥对土壤微生物区系的改变是最大的。

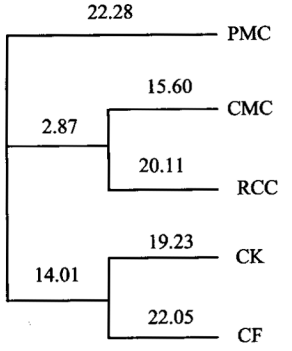

图 5　DGGE 图谱系统(Neighbor Joining)分析

Fig.5　DGGE systems analysis (Neighbor Joining) of 16S rDNA profiles of bacterial communities in soil samples

PCR-DGGE 技术是从土壤微生物基因组的角度研究其多样性的方法。因为有机肥的加入增加了土壤中的有机质含量,为土壤中的微生物提供了更多的养分,从而可以使土壤中原来处于劣势的微生物能够成为优势菌群,使土壤微生物区系发生改变。施用猪粪堆肥有机无机复混肥的土壤微生物群落的变化程度最大,这可能是因为猪粪堆肥的施入使土壤中原本对植物生长有利但处于劣势的微生物菌群成为了优势菌群,造成了土壤微生物区系发生了最大的变化。

表 3 不同施肥处理对土壤微生物群落相似性指数的影响

Table 3 Effects of the different fertilizations on similarity coefficient of soil microbial populations

处理 Treatment	CK	CF	RCC	CMC	PMC
CK	1.000				
CF	0.587	1.000			
RCC	0.448	0.426	1.000		
CMC	0.495	0.416	0.643	1.000	
PMC	0.422	0.440	0.534	0.606	1.000

3 讨论

一些研究表明,与化肥处理比较,施用不同原料堆肥的有机无机复混肥可以提高一些作物的子粒产量[6,13-15]。本试验结果表明,在与购买化学肥料成本相同的条件下,施用不同原料堆肥有机无机复混肥可以获得与化肥相当的小麦子粒产量,为化肥处理小麦子粒产量的 105.1%~106.2%。

在施氮量相同的条件下,与单施化肥比较,施用不同原料堆肥的有机无机复混肥可以提高油菜的氮肥利用效率和氮素生产效率[6]。本试验条件下,猪粪堆肥有机无机复混肥处理、中药渣堆肥有机无机复混肥处理、菜粕堆肥有机无机复混肥处理和化肥处理的氮用量分别为 162、166、171 和 180 kg/hm^2(表1),除菜粕堆肥有机无机复混肥处理和化肥处理的氮用量相当外,另两种有机无机复混肥处理的氮用量都低于化肥处理。虽然各处理的施氮量有所不同,但是施用不同原料堆肥有机无机复混肥后都提高了小麦的氮肥利用效率和氮素生产效率。这是由于不同原料堆肥有机无机复混肥中的有机肥既是一种优质的肥源,同时也是一种物美价廉的氮肥"缓施剂"和"增效剂"。它通过阳离子交换,与化肥养分形成了有机无机复合体,增大了土壤养分库容,来达到吸持氮素,减少径流损失和氨挥发的目的。而且,有机肥在分解过程中产生的有机酸也降低其周围土壤中脲酶的数量和活性以及参与硝化和反硝化作用的微生物活性,从而降低了氮素的损失,提高了氮肥的利用率[17]。

土壤微生物是土壤中活的有机体,是最活跃的土壤肥力因子之一。土壤微生物区系的组成和数量变化,对于土壤中植物养分的转化和吸收以及各种土传性病虫害的发生都有很大关系。据报道,施用肥料可以使土壤微生物总量提高,其中施用有机肥是引起微生物数量增加,有机质含量提高的主要因素。土壤微生物总的数量与有机质含量呈正相关,因此土壤微生物总量可以作为评价土壤肥力的一个重要指标[12]。在本试验中,5 个处理土壤样品共分为三大族群,对照与化肥为一种族群,中药渣和菜粕为一种族群,猪粪为另一种族群,说明施入外源有机物质能显著改变土壤的微生物群落结构。由于各种有机无机复混肥的堆肥原料不同,即猪粪、菜粕和中药渣的 C/N 和有机质含量不同,因而对土壤中微生物群落的影响也不同。

参 考 文 献:

[1] 李健,张峥嵘,黄少斌,等. 固体废物堆肥化研究进展[J]. 广东化工,2008,38(1): 93-97.
Li J, Zhang Z R, Huang S B *et al*. The study on composting of solid wastes [J]. Guangdong Chem. Ind., 2008,38(1): 93-97.

[2] 高月亮,华珞,蔡典雄,等. 氮肥利用及其提高利用率的途径与方法[J]. 首都师范大学学报,2006,27(4): 57-62.
Gao Y L, Hua L, Cai D X *et al*. Utilization of nitrogenous fertilizer and the ways or methods on improving its efficiency [J]. J. Cap. Norm. Univ., 2006, 27(4): 57-62.

[3] 李韬. 提高氮素肥料利用率的途径[J]. 新疆农业科技,1994,(6): 23-25.
Li T. The ways or methods on improving the nitrogenous fertilizer efficiency [J]. Xinjiang Agric. Sci.,1994,(6): 23-25.

[4] 孟琳,王强,黄启为,等. 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮效率的影响[J]. 生态与农村环境学报,2008,24(1): 68-76.
Meng L, Wang Q, Huang Q W *et al*. Effects of combined application of pig manure compost and inorganic fertilizers on yield of rice grains and nitrogen use efficiency [J]. J. Ecol. Rur. Environ., 2008, 24(1): 68-76.

[5] 王艳博,黄启为,孟琳,等. 有机无机肥料配施对盆栽菠菜生长和土壤供氮特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2006,29(3): 44-48.
Wang Y B, Huang Q W, Meng L *et al*. Effect of combined application of organic and inorganic fertilizer on growth of spinach soil nitrogen supply [J]. J. Nanjing Agric. Univ., 2006, 29(3): 44-48.

[6] 蒋小芳,罗佳,黄启为,等. 不同原料堆肥有机无机复混肥对辣椒产量和土壤生物性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(4): 766-773.

Jiang X F, Luo J, Huang Q W *et al*. Effect of dirrent mixed organic-inorganic fertilizer application on pepper yield soil microbial properties [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(4) :766-773.

7] 沈其荣，佘玲，刘兆普，茆泽圣．有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤生物量态氮及土壤供氮特征的影响[J]．土壤学报，1994，31(3)：287-294.

Shen Q R, Yu L, Liu Z P, Mao Z S. Effects of combining application of organic and inorganic nitrogen fertilizers on biomass nitrogen and nitrogen supplying characteristics of coastal saline soil [J]. Acta Pedol. Sin., 1994, 31(3): 287-294.

[8] 王岩，张莹，沈其荣，史瑞和．施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究[J]．植物营养与肥料学报，1997，3(4)：307-314.

Wang Y, Zhang Y, Shen Q R, Shi R H. The changes of soil microbial biomass and the clay fixed ammonium after application of organic and inorganic fertilizers and their bio-effects[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1997, 3(4): 307-314.

[9] 鲍士旦．土壤农化分析（第三版）[M]．北京：中国农业出版社，2000．30-165.

Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (3rd Version)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 30-165.

[10] 王英，王爽，李伟群，等．长期定位施肥对土壤微生物区系的影响[J]．东北农业大学学报，2007，38(5)：632-636.

Wang Y, Wang S, Li W Q *et al*. Effect of long-term located fertilization on soil microflora[J]. J. Northeast Agric. Univ., 2007, 38(5): 632-636.

[11] 张瑞福，曹慧，崔中利，等．土壤微生物总 DNA 的提取和纯化[J]．微生物学报，2003，43(2)：276-282.

Zhang R F, Cao H, Cui Z L *et al*. Extraction and purification of soil microbial total DNA[J]. Acta Microbiol. Sin., 2003, 43(2): 276-282 .

[12] 黄婷婷，曹慧，王兴祥，等．一种土壤微生物总 DNA 的高效提取方法[J]．土壤，2004，36(6)：662-666.

Huang T T, Cao H, Wang X X *et al*. An efficient method for DNA extraction from soil microorganism [J]. Soils, 2004, 36(6): 662-666.

[13] 王月福，于振文，李尚霞，等．土壤肥力和施氮量对小麦氮素吸收运转及子粒产量和蛋白质含量的影响[J]．应用生态学报，2003，14(11)：1868-1872.

Wang Y F, Yu Z W, Li S X *et al*. Effect of soil fertility and nitrogen application rate on nitrogen absorption and translocation, grain yield, and grain protein content of wheat [J]. Acta Ecol. Sin., 2003, 14(11): 1868-1872.

[14] 赖涛，沈其荣，茆泽圣，等．几种有机和无机氮肥对草莓生长及其氮素吸收分配影响的差异[J]．植物营养与肥料学报，2006，12(6)：850-857.

Lai T, Shen Q R, Mao Z S *et al*. Effect of different fertilization practices on the growth and nitrogen uptake in strawberry [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(6): 850-857.

[15] 韩晓玲，张乃文，贾敬芬．生物有机无机复混肥对番茄产量、品质及土壤的影响[J]．土壤肥料，2005，(3)：51-53.

Han X L, Zhang N W, Jia J F. Effect of biological organic-inorganic compound fertilizer on yield, quality of tomato and soil [J]. Soils Fert., 2005, (3): 51-53.

[16] 赵定国，陆铭昌．有机肥在有机无机复混肥中的效果[J]．磷肥与复肥，2004，19(2)：70-71.

Zhao D C, Lou M C. The effect of organic matter on organic-inorganic fertilizer[J]. Phosp. Comp. Fert., 2004, 19(2): 70-71.

[17] 李伟，戴亨林，蔡国学．有机无机复混肥料的肥料效应初探[J]．磷肥与复肥，2003，18(6)：67-72.

Li W, Dai H L, Cai G X. Preliminary study on effect of organic-inorganic compound fertilizer [J]. Phosp. Comp. Fert., 2003, 18(6): 67-72.

[18] 李国学，张福锁．固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]．北京：化学工业出版社，2000．5-20.

Li G X, Zhang F S. Composting of solid wastes and production of inorganic compound fertilizers [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. 5-20.

[19] 李菊梅，徐明岗，秦道珠，等．有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]．植物营养与肥料学报，2005，11(1)：51-56.

Li J M, Xu M G, Qin D Z *et al*. Effects of chemical fertilizers application combined with manure on ammonia volatilization and rice yield in red paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 51-56.

[20] Gelsomino A, Keijzer-Wolters A C, Cacco G *et al*. Assessment of bacterial community structure in soil by polymerase chain reaction and denaturing gradient gel electrophoresis [J]. J. Microbiol. Meth., 1999, 38 (1-2): 1-15.

[21] 刘恩科，赵秉强，李秀英，等．不同施肥制度土壤微生物量碳氮变化及细菌群落 16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析[J]．生态学报，2007，27(3)：1079-1085.

Liu E K, Zhao B Q, Ling X Y *et al*. Microbial C and N biomass and soil community analysis using DGGE of 16S rDNA V3 fragment PCR products under different long-term fertilization systems [J]. Acta Ecol. Sin., 2007, 27(3): 1079-1085.

[22] 谷洁，高华，李鸣雷，等．有机无机复混肥对冬小麦产量及其水分利用效率的影响[J]．西北农林科技大学学报，2004，32(2)：65-68.

Gu J, Gao H, Li M L *et al*. Effect of organic-inorganic fertilizer on the yield and water use efficiency of winter wheat [J]. J. Northwest Sci. Tech. Univ. Agric. For., 2004, 32(2): 65-68.

[23] 刘广军，张振华，翟金中，等．有机无机复混肥在小麦上的应用效果[J]．安徽农业科学，2002，30(6)：944-954.

Liu G J, Zhang Z H, Zhai J Z *et al*. Effect of organic-inorganic fertilizer on wheat[J]. Anhui Agric. Sci., 2002, 30(6): 944-954.

[24] 孙福来，张延霞，庞祥锋，等．长期定位施肥对土壤有机质和碱解氮及冬小麦产量的影响[J]．土壤通报，2007，38(5)：1016-1018.

Sun F L, Zhang Y X, Pang X F *et al*. Effect of long-term fertilization on soil organic matter, available nitrogen and wheat yield [J]. Chin. J. Soil Sci., 2007, 38(5): 1016-1018.

[25] Nakatsu C H, Torsvik V *et al*. Soil community analysis using DGGE of 16S rDNA polymerase chain reaction products [J]. Soil Sci. Soc., 2000, 64: 1382-1388.

[26] 史春余，张夫道，张树清，等．有机-无机缓释肥对番茄产量和氮肥利用率的影响[J]．植物营养与肥料学报，2004，10(6)：584-587.

Shi C Y, Zhang F D, Zhang S Q *et al*. Effect of organic-inorganic slow release fertilizers on yield and nitrogen recovery in tomato [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 584-587.